

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-184655

(P2000-184655A)

(43) 公開日 平成12年6月30日 (2000.6.30)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テームコード <sup>*</sup> (参考)
H 0 2 K 7/09		H 0 2 K 7/09	3 J 1 0 2
F 1 6 C 32/04		F 1 6 C 32/04	A 5 H 6 0 7
H 0 2 K 21/16		H 0 2 K 21/16	M 5 H 6 2 1

審査請求 未請求 請求項の数5 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平10-355124

(22) 出願日 平成10年12月14日 (1998. 12. 14)

特許法第30条第1項適用申請有り 1998年6月20日 社団法人日本機械学会発行の「No. 98-251 第10回電磁力関連のダイナミックスシンポジウム講演論文集」に発表

(71) 出願人 000002233

株式会社三協精機製作所

長野県諏訪郡下諏訪町5329番地

(72) 発明者 岡田 養二

茨城県日立市台原町3-14-6

(72) 発明者 金箱 秀樹

長野県諏訪郡原村10801番地の2 株式会社三協精機製作所諏訪南工場内

(74) 代理人 100087468

弁理士 村瀬 一美

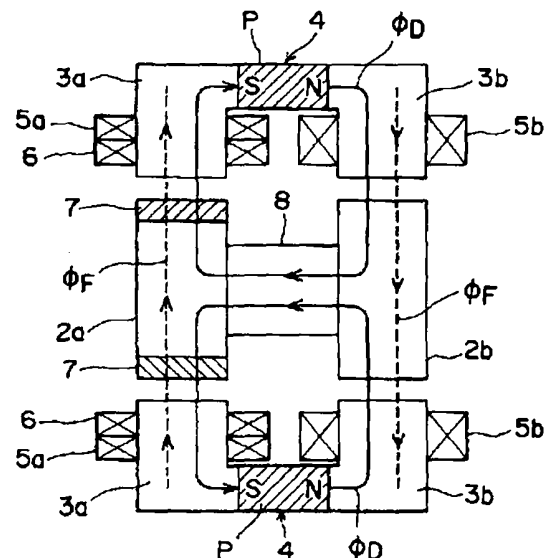
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気浮上電動機

(57) 【要約】

【課題】 軸長が短くでき、かつ、安定した磁気浮上を得られると共に、制御系を簡単にできるようにする。

【解決手段】 磁気浮上電動機は、磁性体で構成し一方端側の周面に永久磁石7が固着されたロータ2a、2bと、ステータ3a、3b側に設けられ、上記ロータ2a、2bの内部から放射状に広がるバイアス磁束を分布させる直流磁場発生手段4と、ステータ3a、3bを浮上制御するための2極の浮上制御磁束を発生する第1のステータ巻線5a、5bと、ステータ3aに対して回転磁界を設定させる第2のステータ巻線6とを備えている。この電動機1は、直流磁場発生手段4からの直流磁場と浮上制御用の第1のステータ巻線5a、5bに浮上制御用電流を流しロータ2a、2bを浮上制御させ、第1のステータ巻線5aに隣接して設けた第2のステータ巻線6に通電しロータ2aに回転力を付与している。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 磁性体からなり少なくとも一方端側の周面に永久磁石が固着されたロータと、ステータ側に設けられ、上記ロータの内部から放射状に広がる磁束を発生する直流磁場発生手段と、上記ロータを浮上制御するための2極の浮上制御磁束を発生する第1のステータ巻線と、上記ロータに対して回転磁界を発生させる第2のステータ巻線とを備えたことを特徴とする磁気浮上電動機。

【請求項2】 上記直流磁場発生手段は、永久磁石からなることを特徴とする請求項1記載の磁気浮上電動機。

【請求項3】 ロータの磁極数が6極以上であることを特徴とする請求項1記載の磁気浮上電動機。

【請求項4】 ロータ周面に永久磁石を貼着したことを特徴とする請求項1記載の磁気浮上電動機。

【請求項5】 ロータの周面に永久磁石を埋設したことを特徴とする請求項1記載の磁気浮上電動機。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は磁気浮上電動機に関する。さらに詳しくは、本発明は、直流磁場と浮上制御用ステータ巻線とによりロータを浮上制御させるとともに、当該浮上制御用ステータ巻線とは別にロータに対して回転磁界を設定するステータ巻線を設けてロータを回転させるようにした磁気浮上電動機に関する。

## 【0002】

【従来の技術】近年、接触型の軸受けに代わる磁気軸受が開発されている。この磁気軸受は、非接触でロータ（軸）を支持するため、摩擦係数がほぼゼロになって高速回転が可能になる。また、このような磁気軸受は、潤滑油を必要としないため、高温、低温あるいは真空中等のような特殊環境下での使用が可能になり、しかもメンテナンスを要しないという利点がある。そこで、この磁気軸受を電動機のロータの支持に用いることが考えられている。

【0003】例えば、従来のモータの軸受けに代わって磁気軸受を採用し、磁気軸受、回転力発生機構（電動機部分）、磁気軸受という順序で水平方向に配置することが提案されている。しかしながら、この場合、軸長が増加し、危険速度が低下するという問題が伴う。

【0004】そこで、磁気軸受のステータが交流電動機のステータとほぼ同一構造であることに注目し、これらを一体化した磁気浮上電動機が提案されている。この結果、装置全体が小型化し、軸長も短くすることができる。

【0005】このように磁気浮上と回転を同時に実現した磁気浮上電動機については、例えば特開平6-269144号公報に記載されたものがある（第1の従来技術）。この第1の従来技術は、各磁極に巻線を配置したステータと、永久磁石によってM個の磁極数を形成した

ロータとを備え、制御手段によりロータの永久磁極数M±2極の回転磁界を発生させる電流と前記ロータを回転させる電流とを前記巻線に流すことにより、磁気浮上と回転力とを得るようにした磁気浮上電動機である。この第1の従来技術によって、装置全体が小型化し、軸長も短くて危険速度を低下させることができた。

【0006】また、上記第1の従来技術とは原理が異なるが、突極を備える2個のロータと、これらロータを圍繞するように配置され前記ロータにトルクを発生させる巻線を備えたステータと、前記ステータの外側に配置され前記ロータの突極を励磁する直流磁場発生手段と、前記ロータに半径方向力を発生する制御用コイルと、この制御用コイルに通電する制御手段とを備えたホモポラ型リラクタンスモータが提案されている（特開平10-136622号公報（第2の従来技術））。この第2の従来技術では、磁気浮上電動機を得ることができ、軸長を短くして、危険速度を低下させたものである。

## 【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記第1の従来技術によれば、負荷トルク及びモータ電流によって浮上制御が影響を受ける欠点がある。また、第1の従来技術によれば、浮上制御を回転磁界によって行うため、座標変換が必要となり、制御系が複雑になるという欠点もある。さらに、この第1の従来技術によれば、磁気回路を線形として考えているので、磁気飽和が浮上力に影響を及ぼすという欠点がある。

【0008】また、第2の従来技術では、ロータが突極型で最低8極を必要とする欠点があった。

【0009】本発明は、軸長が短くて、かつ、安定した磁気浮上を得られると共に、制御系を簡単にすることができる磁気浮上電動機を提供することを目的とする。

## 【0010】

【課題を解決するための手段】かかる目的を達成するため、請求項1記載の発明にかかる磁気浮上電動機は、磁性体からなり少なくとも一方端側の周面に永久磁石が固着されたロータと、ステータ側に設けられ、上記ロータの内部から放射状に広がる磁束を発生する直流磁場発生手段と、上記ロータを浮上制御するための2極の浮上制御磁束を発生する第1のステータ巻線と、上記ロータに対して回転磁界を発生させる第2のステータ巻線とを備えるようにしている。

【0011】したがって、直流磁場と浮上制御用の第1のステータ巻線に浮上制御用電流を流すことによりロータを浮上制御させ、かつ、第2のステータ巻線に通電することによりロータに回転力を付与させる。即ち、ロータの永久磁石が固着された部分との間でモータを構成するステータは、ロータの極数に応じた回転磁界と2極の浮上磁界を作り出せる。モータ側および磁気軸受側のロータにはバイアス永久磁石により放射状の磁束が与えられるために、この磁束によって直流での浮上制御が可能

となる。ステータ側に配置された直流磁場によりロータとステータの間に放射状に広がる一定の磁束を形成しておき、ステータの位置制御巻線により制御磁束を発生させて前記一定の磁束と合成することにより、このロータに上向きの浮上力を発生させてロータを浮上させている。即ち、ロータに働く力は、制御磁束と直流磁場によるバイアス磁束との相互作用によって生じさせている。そこで、浮上回転制御はステータからの回転磁界と浮上磁界、そして、このバイアス磁束をエアギャップに重畳させることにより行う。

【0012】また、請求項2記載の発明は、請求項1磁気浮上電動機において、直流磁場発生手段が、永久磁石からなるようにしている。この場合、永久磁石でバイアスのための直流磁場を発生させているので、その磁束発生のための電力が不要になる。

【0013】また、請求項3記載の発明は、請求項1の磁気浮上電動機において、ロータの磁極数が6極以上であるようにしている。この場合、第1のステータ巻線と第2のステータ巻線とを同一のステータに設け、磁気浮上と回転力発生とを個別に行わせることができるようにしている。ロータ及びステータの数を少なくすることができる。

【0014】また、請求項4記載の発明は、請求項1の磁気浮上電動機において、ロータ周面に永久磁石を貼着するようにしている。この場合、ロータの周面に永久磁石を貼着するだけの簡単な構造であるので、簡単に製造することが可能になる。

【0015】更に、請求項5記載の発明は、請求項1の磁気浮上電動機において、ロータの周面に永久磁石を埋設するようにしている。この場合、ロータの周面に永久磁石を埋設してなるので、堅固な構造となる。

【0016】

【発明の実施の形態】以下、本発明の構成を図面に示す一実施の形態に基づいて詳細に説明する。

【0017】図1～図2に本発明の実施の一形態に係る磁気浮上電動機の原理的構造を示す。この磁気浮上電動機1は、ロータ2a、2bと、ステータ3a、3bと、直流磁場発生手段4と、第1のステータ巻線5a、5bと、第2のステータ巻線6と、ロータ2aに設ける永久磁石7、…、7とを具備し、永久磁石7、…、7を備えたロータ2aとステータ3aとの間でモータが構成されている。また、ロータ2a、2bとステータ3a、3bとのそれぞれの間では磁気軸受が構成される。

【0018】ロータ2a、2bは磁性体から構成されており、磁性体からなる回転軸8に所定の間隔を隔てて設けられている。これらロータ2a、2bのうちのロータ2aの周面には、永久磁石7、…、7が極性をN、S、N、…、Sというように反転して設けられている。これら永久磁石7、…、7は、ロータ2aの周面に貼着されている。ここで、永久磁石7は、N極が表側に露出する

永久磁石とS極が露出する永久磁石とが交互に配置されており、尚かついずれか一方の周方向の両側縁が図6に示すように台形状を成すように周方向に突出した形状とされ、他方の磁石が単純な長方形とされ、ロータ表面のロータの磁束密度分布が正弦波状に近づくように設けられることが好ましい。尚、ロータ2a、2bはケイ素鋼板を重ねて製作することが渦電流の発生を防ぐ上で好ましい。

【0019】これらロータ2a、2bの外側には、ステータ3a、3bがロータ2a、2bの周面をそれぞれ囲繞するように配置されている。ステータ3a、3bには、ロータ2a、2bを浮上制御するための2極の浮上制御磁束 $\phi_f$ を発生する第1のステータ巻線5a、5bがそれぞれ巻回されている。また、ステータ3aには、第1のステータ巻線5aに隣接させてロータ2aに対して回転磁界 $\phi_k$ を設定させる第2のステータ巻線6が設けられている。

【0020】また、ステータ3a、3bの間には直流磁場発生手段4が設けられており、この直流磁場発生手段4によってロータ2a、2bからステータ3a、3bに向けて放射状に分布する磁束 $\phi_b$ を発生させている。この直流磁場発生手段4は、具体的には永久磁石Pであって、ステータ3a、3bの間の中央に配置され、この永久磁石Pによってロータ2a、2bとステータ3a、3bとの間にバイアスのための直流磁場を発生させている。ここで、バイアス磁束を発生させる直流磁場発生手段4としての永久磁石Pの数は、特に限定されるものではないが、多いほど即ちエアギャップ内のバイアス磁束が大きいくほど浮上電流をより少なくできることから、可能な限り多くすることが好ましい。尚、ステータ3a、3bもロータ2a、2bと同様に、ケイ素鋼板の積層材で構成することが好ましい。

【0021】また、ロータ2aの磁極数とステータ3aのスロット数は特に限定されるものではないがPMモータを構成できる数であれば足りるが、磁極数が6極以上、スロット数が9個以上であることが好ましく、本実施形態では磁極数6極、スロット数12で構成されている。

【0022】尚、上記のPMモータにおいて、ステータはスロットレス構造であってもよい。

【0023】このような磁気浮上電動機的作用について図1及び図2を基に図3及び4を参照して説明する。

【0024】ここで、図3に、ロータにおける座標系を示す。図3において、ステータ3a、3bの回転中心をOとし横軸にx軸をとり、これに直角な縦軸にy軸をとる。また、ステータ3a、3bの上に固定した回転座標を $\theta$ とし、ロータ2a、2bの角速度を $\omega$ とし、時間を $t$ とすると、各ステータ3a、3bはy軸から角度 $\theta$ として配置されており、また、y軸を時間 $t=0$ として $t$ 秒後のロータ2a、2bの位置は $\omega t/M$ で求めること

ができる。

【0025】図4に、ステータ及びロータにおける磁束と時間との関係を示す。ここで、図4(a)はロータの永久磁石と直流磁場発生手段からのバイアス磁束による磁束密度 $B_r$ を時間との関係で示し、図4(b)は第2のステータ捲線によってステータとロータとの間隙に発生する磁束密度 $B_{sm}$ を時間との関係で示し、かつ、図4(c)は第1のステータ捲線による磁束密度 $B_{sb}$ を時間との関係で示したものである。

【0026】この磁気浮上電動機1では、第1のステータ捲線5a、5bから図4(c)に示す磁界が発生するように第1のステータ捲線5a、5bに電流を流し、また、第2のステータ捲線6から図4(b)に示すような磁界が発生するように第2のステータ捲線6に電流を流すことにより、この磁気浮上電動機1は磁気浮上するとともに、電動機として回転を発生する。

【0027】このように第1のステータ捲線5a、5bから磁束密度 $B_{sb}$ が発生するように電流を流し、第2のステータ捲線6から磁束密度 $B_r$ が発生するように電流を流すことにより、磁気浮上と回転力が独立して発生\*20

$$B_r = \begin{cases} B_0 + B_1 \\ \dots \left( \frac{\omega t}{M} + \frac{2\pi(i-1)}{M} - \frac{\pi}{2M} \sim \frac{\omega t}{M} + \frac{2\pi(i-1)}{M} + \frac{\pi}{2M} \right) \\ B_0 - B_1 \\ \dots \left( \frac{\omega t}{M} + \frac{2\pi(i-1)}{M} + \frac{\pi}{2M} \sim \frac{\omega t}{M} + \frac{2\pi(i-1)}{M} + \frac{3\pi}{2M} \right) \end{cases}$$

【0036】ここで、

$B_0$  : バイアス磁石によるギャップ磁束密度

$B_1$  : ロータの永久磁石による磁束密度の波高値

$B_2$  : 電動機巻線による磁束密度の波高値

$B_3$  : 位置制御巻線による磁束密度の波高値

$\theta$  : ステータ上に固定した回転座標

$\psi$  : 電動機巻線による磁束とロータの位相差

$\phi$  : 位置制御巻線による磁束の位相角

$\omega$  : ロータの角速度

$t$  : 時間

$M$  : 極対数 (= 1, 2, 3, ...)

$i$  : 自然数

計算を簡単にするため、正弦波に近似させると、次の数式2に示すように表すことができる。

【0037】

【数2】

$$B_r = B_0 + B_1 \cos(M\theta - \omega t)$$

【0038】第2のステータ捲線6によってロータ2aとステータ3aとの間に発生する磁束密度 $B_{sm}$ は、

【0039】

【数3】

$$B_{sm} = B_2 \cos(M\theta - \omega t - \phi)$$

【0040】のように表すことができる。

【0041】また、第1のステータ捲線5a、5bによ\*50

\*することについて、理論解析をするために、次の(i)～(vi)のような仮定をする。

【0028】(i) ステータ3a、3bは電流が連続的に分布するものとする。

【0029】(ii) 定常回転、定常スラスト負荷(重力等)状態とする。

【0030】(iii) ロータ2aは、永久磁石によって矩形波状の磁束密度を作り、これによる偏心力はない。

【0031】(iv) ロータ2a、2bはステータ3a、3bの中心にあり、偏心していない。

【0032】(v) バイアス磁束は一定で放射状に分布している。

【0033】(vi) 第2のステータ捲線6に流す回転磁界用の電流による電機子反作用はない。

【0034】このような仮定の上において、ロータ2aの永久磁石7と直流磁場発生手段4のバイアス磁束による磁束密度 $B_r$ は、次の数式1のようになる。

【0035】

【数1】

\*って発生する磁束密度 $B_{sb}$ は、

【0042】

【数4】

$$B_{sb} = B_3 \cos(\theta - \phi)$$

【0043】のようになる。

【0044】したがって、ロータ2a、2bとステータ3a、3bとの間のエアギャップに作られる磁束密度 $B_g$ は、

【0045】

【数5】

$$B_g = B_r + B_{sm} + B_{sb}$$

【0046】となる。

【0047】次に、ロータ2a、2bの半径を $r$ とし、ロータ2a、2bとステータ3a、3bとのエアギャップを $g$ とし、ロータ2a、2bの軸方向に長さを1、微小角度を $d\theta$ とすると、エアギャップの微小体積 $\Delta V$ は、

【0048】

【数6】

$$\Delta V = rlgd\theta$$

【0049】となり、この微小体積 $\Delta V$ に蓄えられる磁気エネルギー $\Delta W$ は、

【0050】

【数7】

$$\Delta W = \frac{B_2^2}{2\mu_0} \Delta V = \frac{B_2^2}{2\mu_0} r l g d \theta$$

【0051】となる。

【0052】これにより、半径方向に沿った放射状の力  $dF$  は微小ギャップ体積中に蓄えられる磁気エネルギーの仮想変位により次の数式8のように計算される。

【0053】

【数8】

$$dF = \frac{\partial \Delta W}{\partial g} = \frac{B_2^2}{2\mu_0} r l d\theta$$

【0054】ここで、 $x$  軸及び  $y$  軸方向に発生する力  $F_x$ 、 $F_y$  は、数式9に示す  $dF$  の  $x$  方向成分及び  $y$  方向成分を  $\theta$  についてギャップ全周に渡って積分することにより、数式9、数式10に示すように算出することができる。

【0055】

【数9】

$$\begin{aligned} F_x &= \int_V dF \cos \theta \\ &= \int_0^{2\pi} \frac{B_2^2}{2\mu_0} r l \cos \theta d\theta \\ &= \frac{lr}{2\mu_0} \left[ \frac{B_0 B_1}{2} \int_0^{2\pi} \cos\{(M-1)\theta - \omega t\} d\theta \right. \\ &\quad + \frac{B_0 B_2}{2} \int_0^{2\pi} \cos\{(M-1)\theta - (\omega t + \psi)\} d\theta \\ &\quad + 2B_0 B_3 \pi \cos \phi \\ &\quad + \frac{B_1 B_3}{2} \int_0^{2\pi} \cos\{(M-2)\theta - (\omega t - \phi)\} d\theta \\ &\quad \left. + \frac{B_2 B_3}{2} \int_0^{2\pi} \cos\{(M-2)\theta - (\omega t + \psi) + \phi\} d\theta \right] \end{aligned}$$

【0056】

【数10】

$$\begin{aligned} F_y &= \int_0^{2\pi} \frac{1}{2\mu_0} B_2^2 r l \sin \theta d\theta \\ &= \frac{lr}{2\mu_0} \left[ \frac{B_0 B_1}{2} \int_0^{2\pi} \sin\{(1-M)\theta + \omega t\} d\theta \right. \\ &\quad + \frac{B_0 B_2}{2} \int_0^{2\pi} \sin\{(1-M)\theta + (\omega t + \psi)\} d\theta \\ &\quad + 2B_0 B_3 \pi \sin \phi \\ &\quad + \frac{B_1 B_3}{2} \int_0^{2\pi} \sin\{(2-M)\theta + \omega t - \phi\} d\theta \\ &\quad \left. + \frac{B_2 B_3}{2} \int_0^{2\pi} \cos\{(2-M)\theta + (\omega t + \psi) - \phi\} d\theta \right] \end{aligned}$$

【0057】ここで、 $M \geq 3$  とすると、

【0058】

【数11】

$$F_x = \frac{B_0 B_3 l r \pi}{\mu_0} \cos(\phi)$$

【0059】

【数12】

$$F_y = \frac{B_0 B_3 l r \pi}{\mu_0} \sin(\phi)$$

【0060】となり、ロータ2a、2bの回転角に関係なく一定の浮上力が得られる。数式11の  $x$  方向の浮上力も、数式12の  $y$  方向の浮上力も、ロータ2aの永久磁石の磁束密度及び第2のステータ捲線6による磁束密度の項が表れていないことから、磁気浮上力は第2のステータ捲線6によって形成される回転磁界の影響を受けないことがわかる。

【0061】一方、回転トルク  $T$  は、

【0062】

10 【数13】

$$\begin{aligned} T &= \int_0^{2\pi} \frac{\partial \Delta W}{\partial \psi} \\ &= -\frac{r l g M B_1 B_2 \pi}{\mu_0} \sin M \psi \\ &\quad + \frac{r l g M B_2 B_3}{2\mu_0} \int_0^{2\pi} \sin\{(M-1)\theta - M(\omega t + \psi) + \phi\} d\theta \end{aligned}$$

【0063】に示すように求められる。ここで、 $M \geq 2$  とすると、回転トルク  $T$  は、

20 【0064】

【数14】

$$T = -\frac{r l g M B_1 B_2 \pi}{\mu_0} \sin M \psi$$

【0065】となり、直流磁場発生手段4で発生するバイアス磁界によるエアギャップ磁束密度、及び第1のステータ捲線5a、5bによる磁束密度の項が表れないため、バイアス磁界及び浮上磁界の影響を受けないことがわかる。

【0066】このように本発明の実施の形態では、次のような利点がある。

【0067】(1) 磁気軸受と電動機の磁気回路とを一体化したので、装置全体がコンパクトになり、軸長を小さくできて危険速度を高くでき、高速回転をさせることができる。

【0068】(2) 負荷トルク及び電動機電流によって磁気浮上制御が影響を受けないので、より安定した浮上を実現できる。

【0069】(3) 磁気浮上制御は回転磁界によって行わないため、座標変換が不要になり、制御系が簡単になる。

【0070】(4) ホモポーラ型磁気浮上電動機では突極型で最低8極が必要であるが、この実施の形態による磁気浮上電動機では最低6極で構成することができ、構造が簡単になる。

【0071】(5) 直流磁場発生手段に永久磁石を使用することが可能であり、永久磁石を使用したときには磁場発生のための電力が必要としない。

【0072】なお、上述の実施の形態は本発明の好適な実施の形態の例であるが、これに限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲において種々の変形

実施が可能である。例えば、本実施形態では、ロータ2aの周面に永久磁石7、…、7が貼着されている例について主に説明したがこれに特に限定されず、ロータ2aに永久磁石7、…、7を埋設し、周面に露出させるように構成することも可能である。

#### 【0073】

【浮上及び回転実験】本発明の磁気浮上電動機の浮上及び回転実験を図6に示すロータ構造を採用した図5の実験装置で実施した。

【0074】実験装置となった磁気浮上電動機101は、図5に示すように、ロータ102a、102bの外周面を、ステータ103a、103bとで覆った形に形成されている。また、ステータ103aとステータ103bとの間には直流磁場発生手段である永久磁石104が配置されており、この永久磁石104により鉄プレート103c、103dを介してステータ103a、103bにバイアス磁界を供給できるようになっている。さらに、これらステータ103a、103bには、第1のステータ巻線105a、105bがそれぞれ巻かれている。また、ステータ103aには第1のステータ巻線105aに隣接して第2のステータ巻線106が巻かれている。

【0075】また、ロータ102aは、図6に示すように、ロータ鉄心120と、N極側が表側を向いた永久磁石107nと、S極が表側を向いた永久磁石107sとから構成されている。すなわち、ロータ鉄心120には、N極を表側に向けた永久磁石107nとS極を表側に向けた永久磁石107sとを交互に配置して6極の永久磁石が張り付けられている。尚、N極が露出する永久磁石107nは、周方向の両側縁が台形状を成すように周方向に突出した形状とされ（上底14mm、下底24mm、高さ5mm）、S極が露出する永久磁石107sは単純な長方形とされ、ロータ表面のロータ102aの磁束密度分布が正弦波状に近づくように設けられている。また、ロータ102a、102bの各ロータ鉄心120は、回転軸となる鉄パイプ108に例えば42mmだけ離して固定してある。

【0076】この鉄パイプ108は、例えば長さ約190mm程度のものであり、このパイプ108の一端にはセンサーターゲット109が設けられている。このセンサーターゲット109の部分には支持体110が設けられており、センサーターゲット109を検出するセンサー111x、111yが設けられている。

【0077】尚、本実験装置では、始動時には磁気軸受の制御は行わず、磁気軸受けのロータが水平を保つように、最右端を玉軸受けにより支持するように設けられている。即ち、鉄パイプ108には軸108aが挿入されていて、この軸108aの図示右側において玉軸受112によって軸108aが回転可能に固定されている。玉軸受112は支持体113により固定されている。

【0078】また、支持体110、113、及びステータ103a、103bは基台115に固定されている。

【0079】なお、ロータ102aの図示左側と、ロータ102bの図示右側にはタッチダウンプレート116a、116bが設けられている。

【0080】そして、基台115の上面からタッチダウンプレート116a、116bの上端までの高さが例えば135mmであり、また、基台115の上面から回転軸108aの回転中心までの高さが例えば70mmとして構成されている。また、基台115に配置された各種の部材は、タッチダウンプレート116aからセンサーターゲット109までの間隔が例えば22mm、ロータ102a及びステータ103aの厚みが例えば63mm、直流磁場発生手段である永久磁石104の関連部分の間隔が42mm、ロータ102b及びステータ103bの部分の長さが例えば48.5mm、また、タッチダウンプレート116bから支持体113までの間隔が例えば73.5mmとなるように構成している。

【0081】図7に、当該磁気浮上電動機を駆動する制御系を示す。センサ111x、111yは置換コンバータ201の入力に接続されている。置換コンバータ201は、センサ111x、111yからの検出信号を所定の置換を行い出力できる。置換コンバータ201の出力端はDSP（Digital Signal Processor；デジタル信号処理装置）202の入力端に接続されている。DSP202は、クロックボード202aと、A/Dボード202bと、D/Aボード202cとから構成されている。このDSP202はコンピュータ203に接続されており、コンピュータ203の制御下にデジタル信号処理を実行する。このDSP202のA/Dボード202bには置換コンバータ201の出力が供給されている。また、DSP202のD/Aボード202cは、そのアナログ出力信号を増幅装置204に供給する。この増幅装置204は電源205から電力の供給を受けて、D/Aボード202cからの出力信号に応じてステータ103aの第1のステータ巻線105aと第2のステータ巻線106に流す電流を制御するとともに、ステータ103bの第1のステータ巻線105bに流す電流を制御するようになっている。

【0082】このような磁気浮上電動機101の動作について説明する。図8に、6極のロータ102aの磁束分布を示す。この図において、点線IFが望ましい磁束分布を示し、実線AFが実測値を示したものである。この磁束密度の分布は、ロータ102aを開放状態で計測したものである。エッジ効果により波形が歪んでいるが、磁極の最大値は0.13Tとなる。実際に使用する際には、ステータ103aに挿入することにより、さらに大きな値となり、より理想状態に近い波形に変化すると考えられている。なお、ロータ102aをステータ103aに、ロータ102bをステータ103bにそれ

ぞれ挿入したときには、エアギャップは、永久磁石の厚みを含めて片側が2.0mmとなるようにした。

【0083】この磁気浮上電動機101の静的な特性を調べるために、浮上力の測定を行った。電動機の磁界を静止磁界とし、ロータ102a、102bの浮上制御を行った状態で、鉛直上方向に力を加えていったときの、浮上電流値を測定した。

【0084】図9に、バイアス磁束を発生させる永久磁石104を3個としたときの浮上力と、永久磁石104を6個としたときの浮上力を示す。この図9において、バイアス磁束を発生させる永久磁石104が3個のときの特性qと、永久磁石104が6個のときの特性rとを比較すると、永久磁石104が6個のときの方が浮上電流をより少なくすることができるとわかる。すなわち、永久磁石104は多ければ多いほど浮上電流を少なくすることができる。

【0085】このことは、x、y方向の浮上力の式である数式11、数式12からも容易にわかる。ロータ102a、102bの浮上力は、ロータ102aに加わる力が8.0Nあり、また、この装置ではバイアス磁束を与える永久磁石104として6個用いたため、浮上に必要な電流は約0.9Aを必要となることが、図9からもわかる。

【0086】つぎに、浮上及び回転動作について説明する。ロータ102a、102bとステータ103a、103bとの間のエアギャップを2mmとし、前述したように磁気軸受の制御は行わず、電動機としての電流を0.3A、0.5A、0.7Aとしてそれぞれ動作させた。また、増幅装置204にはリニアアンプを使用し、最大±24Vで駆動した。

【0087】制御系のゲインは実験的に求め、以下の値を使用した。

【0088】 $K_p = 25 \text{ A/mm}$

$K_d = 5 \text{ A} \cdot \text{Sec} / \text{mm}$

$K_i = 0.2 \text{ A} \cdot \text{Sec}$

$\tau = 1 \times 10^{-4} \text{ Sec}$

$T_d = 3 \times 10^{-2} \text{ Sec}$

また、電動機の電流を0.5Aとして、ロータ102aが静止(回転数が0rpm)のときにインパクトハンマを用いてロータ102aを加振させたときの応答を図10(a)、図10(b)に示す。これらの図からも分かるように、ロータ102aが安定して浮上制御が行えていることがわかる。

【0089】次に、アンバランス応答(回転数毎の振動振幅)を図11～図13に示す。ここで、図11は電動機電流を0.3Aとしたときのアンバランス応答であり、図12は電動機電流を0.5Aとしたときのアンバランス応答であり、図13は電動機電流を0.7Aとしたときのアンバランス応答である。

【0090】これらのアンバランス応答特性は、回転数

を100rpm刻みで上昇させてゆき、各回転数で安定状態の最大と最小のセンサ変位を記録し、その差をとったものである。

【0091】これらの図をみたときに、低回転において振動振幅が大きくなっている理由は、ロータ102aに張り付けた永久磁石107n、107sにより、ステータ103aの突部に吸引される力の影響が大きく、また、低回転ではロータ102aの角速度を一定にすることが困難であり、そのため、ロータ102aが大きく振動してしまうことが考えられる。

【0092】なお、電動機電流が0.3Aのときは4300rpmまで、電動機電流が0.5Aのときは4400rpmまで、電動機電流が0.7Aのときは4300rpmまで浮上制御を行いながら、回転制御が可能になることが確かめられた。

【0093】このように本磁気浮上電動機101によれば、直流磁場発生手段である永久磁石104により直流磁場をステータ103a、103bを介してロータ102a、102bに供給することにより位置制御が可能になり、また、ロータ102aの対極数が6極以上であれば、浮上制御と回転制御を完全独立に行わせることができる。

【0094】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、次のような効果がある。

【0095】(1)磁気磁気受と電動機の磁気回路とを一体化したので、装置全体がコンパクトになり、軸長を小さくできて危険速度を高くでき、高速回転をさせることができる。

【0096】(2)負荷トルク及び電動機電流によって磁気浮上制御が影響を受けないので、より安定した浮上が実現できる。

【0097】(3)磁気浮上制御は回転磁界によって行わないため、座標変換が不要になり、制御系が簡単になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態に係る磁気浮上電動機を示す正面図である。

【図2】同磁気浮上電動機を示す断面図である。

【図3】同磁気浮上電動機の座標系を設定するための説明図である。

【図4】同磁気浮上電動機に発生する磁束密度を説明するための特性図であり、同図(a)はロータの永久磁石と直流磁場発生手段からのバイアス磁束による磁束密度Brを時間との関係で示し、同図(b)は第2のステータ巻線によってステータとロータとの間隙に発生する磁束密度Bsmを時間との関係で示し、同図(c)は第1のステータ巻線による磁束密度Bsbを時間との関係で示したものである。

【図5】本発明の磁気浮上電動機の浮上及び回転実験を

13

行うための実験装置として構成された磁気浮上電動機の一実施例を示す構成図である。

【図6】同実施例の一方のロータの構造を拡大して示す斜視図である。

【図7】同実施例の制御系を示すブロック図である。

【図8】同実施例のロータの磁界分布を示す特性図である。

【図9】同実施例の直流磁場発生手段を構成する永久磁石の個数に応じて必要な電流値を示す特性図である。

【図10】同実施例においてロータが静止しているとき、インパクトハンマを用いてロータを加振させたときの応答を示す特性図であり、(a)はX軸、(b)はY軸を示す。

【図11】同実施例において電動機電流を0.3Aとしたときのアンバランス応答を示す特性図である。

【図12】同実施例において電動機電流を0.5Aとしたときのアンバランス応答を示す特性図である。

【図13】同実施例において電動機電流を0.7Aとした

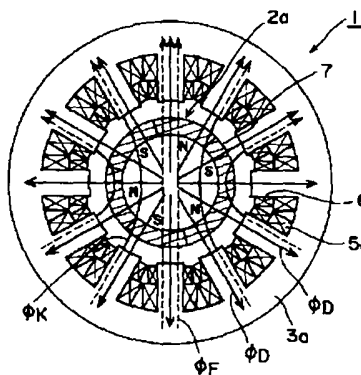
14

たときのアンバランス応答を示す特性図である。

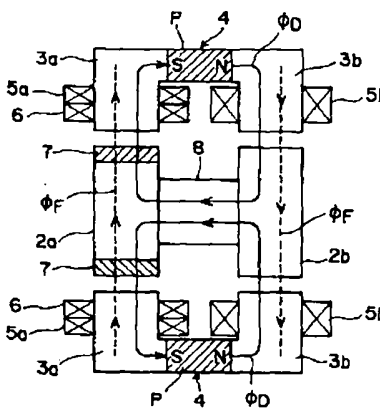
【符号の説明】

- 1, 101 磁気浮上電動機
- 2a, 2b, 102a, 102b ロータ
- 3a, 3b, 103a, 103b ステータ
- 4, 104 直流磁場発生手段
- 5a, 5b, 105a, 105b 第1のステータ捲線
- 6, 106 第2のステータ捲線
- 7, 107n, 107s 永久磁石
- 8, 108a 回転軸
- 108 鉄パイプ
- 111x, 111y センサ
- 201 置換コンバータ
- 202 DSP
- 203 コンピュータ
- 204 増幅装置
- 205 電源

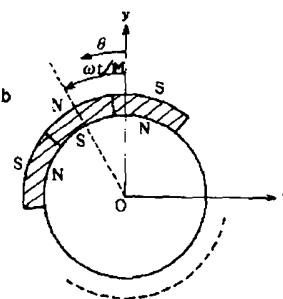
【図1】



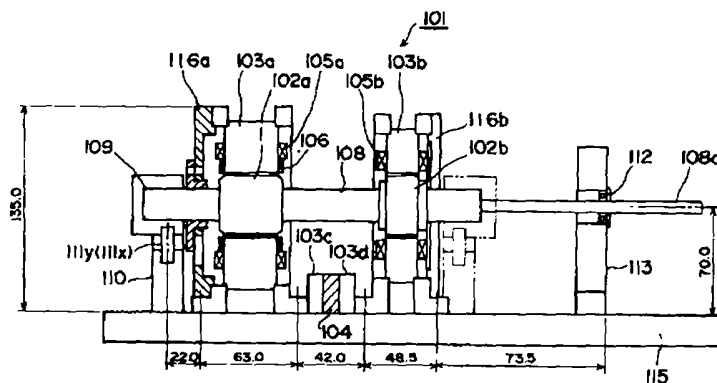
【図2】



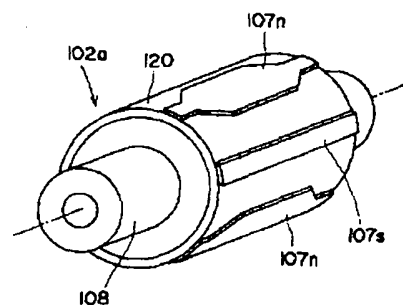
【図3】



【図5】

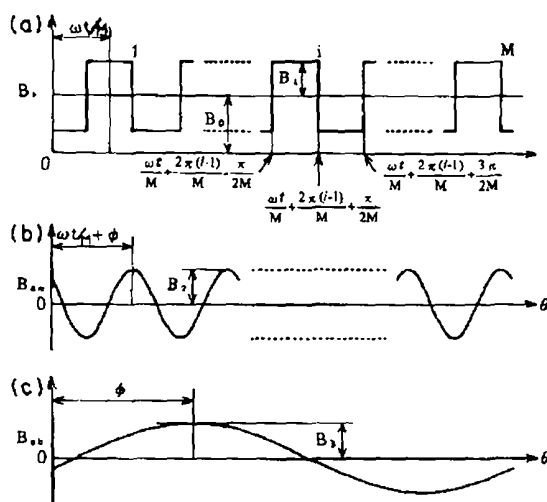


【図6】

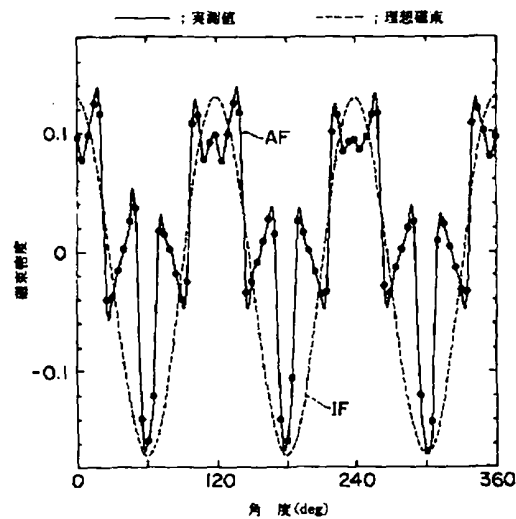




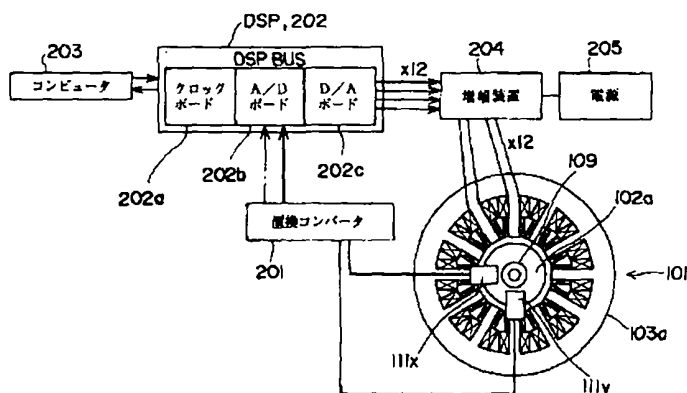
【図4】



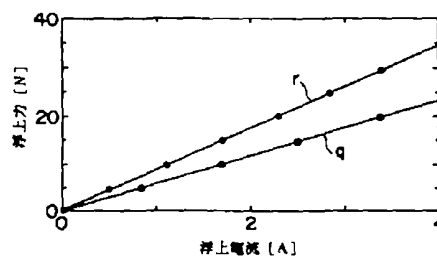
【図8】



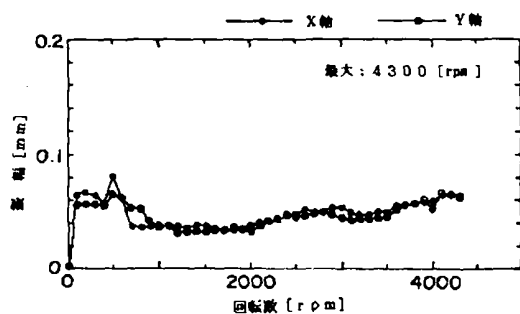
【図7】



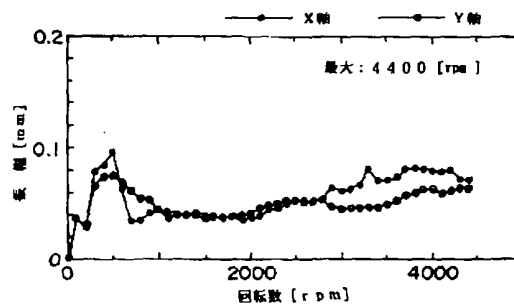
【図9】



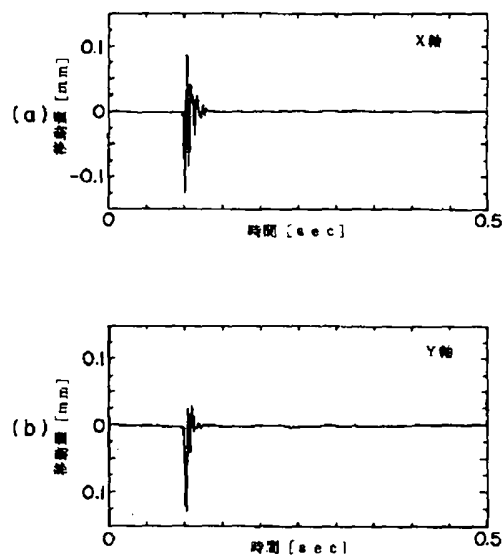
【図11】



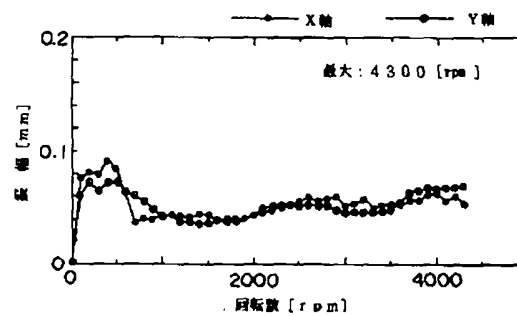
【図12】



【図10】



【図13】



フロントページの続き

Fターム(参考) 3J102 AA01 CA10 CA19 CA27 DA02  
 DA07 DA13  
 5H607 AA04 BB01 BB07 BB09 BB14  
 CC01 CC09 DD03 DD19 GG19  
 GG21 HH01 HH05  
 5H621 AA04 BB01 BB02 BB10 GA01  
 GA04 GB10 HH01 JK19 PP02  
 PP10